

Die massgefertigte Knieprothese aus dem 3D-Drucker

T. Stähelin, orthopädische Chirurgie für Hüfte und Knie, Stans/Meggen/Zürich



Traditionelle Konfektion ab Lager

Die Knieprothetik strebt die Erhaltung oder Rekonstruktion der vorerkrankten natürlichen Knieform an. Bei der interindividuellen Vielfalt von Knieformen bleibt dieses Ziel jedoch trotz feiner Abstufung von konfektionell hergestellten Prothesengrössen in Ferne. Die dreidimensionale Operationsplanung mit virtueller Implantation hat zu dieser Erkenntnis wesentlich beigetragen (Abbildung 1).

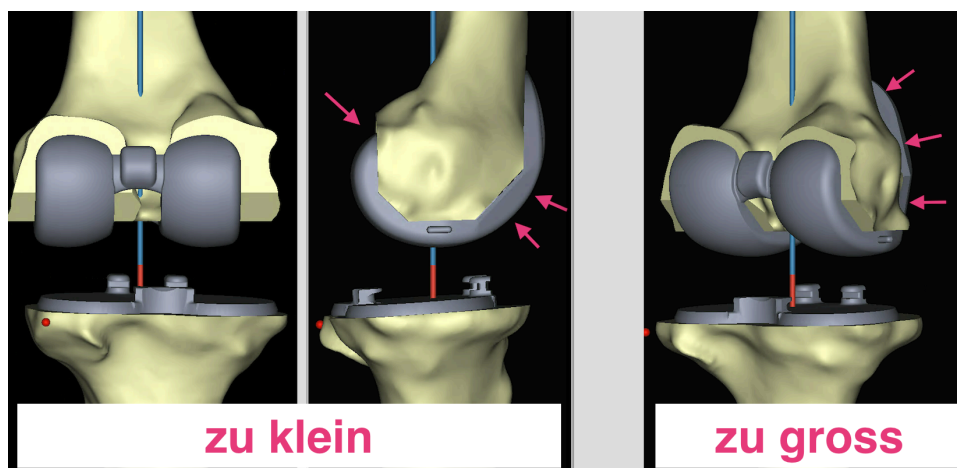


Abb. 1: Via MR (oder CT) rekonstruierte Knochenform des zu operierenden Knies mit bestmöglicher Prothesenanpassung. Da es keine Durchschnittsanatomie gibt, ist die traditionelle Prothese entweder zu klein oder zu gross. Ist sie zu klein, stechen die prothetisch unterdimensionierten Kondylenrollen ins Auge; es entstehen grosse, von der Prothese ungedeckte Knochenschnittflächen, auch wenn man sich die Osteophyten wegdenkt; vor allem antero-distal und postero-proximal wird abgetragenes Knochenvolumen prothetisch ungenügend ersetzt (Pfeile). Und dennoch wird sich der Operateur für diese zu kleine Prothese entscheiden, denn die grössere passt wohl an die Kondylen, überragt den Knochen aber seitlich (Pfeile), was inakzeptabel ist .

Mit diesen traditionellen Prothesen ab Lager wird das Knie der Prothese angepasst. Dabei wird am Femur mehr Knochen weggeschnitten, als an Volumen mit dem Metallschild wieder aufgetragen wird. Das Femurknochenvolumen wird auch wegen einer leicht verdrehten, tribologisch wahrscheinlich vorteilhaft

(mechanisch) ausgerichteten Implantation kleiner, um keinesfalls an einer ungünstigen Stelle eine volumetrische Erweiterung zu riskieren, denn die stört. Die prothetisch auferzwungene unnatürliche Knieform mag ein Grund sein, weshalb jeder fünfte Patient mit seinem künstlichen Knie unzufrieden ist (1).

Neu, die individuelle Form und Grösse nach Mass

Moderne Fertigungsverfahren mit 3D-Druck ab CAD-Modell erlauben es, die Prothese individuell, auf Mass herzustellen und damit annähernd die ursprüngliche Gelenkform eines jeden Patienten zu belassen, beziehungsweise den vorerkrankten Zustand herzustellen.

Damit hat gewissermassen ein Wechsel stattgefunden: Es wird nicht mehr das Knie der Prothese, sondern die Prothese dem Knie angepasst. Erstmals ist eine maximale Abdeckung der Knochenschnittflächen möglich (2), ohne dass dabei die Prothese den Knochen überragt oder zu voluminös wird. Die Individualität, sei sie auch noch so verschieden, spielt dabei keine Rolle mehr. (Abbildung 2).

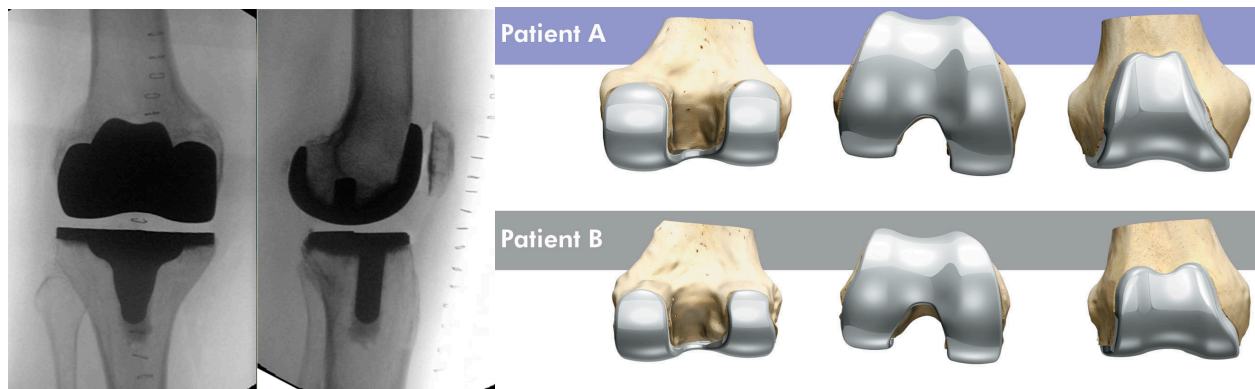


Abb. 2: Die Massprothese passt genau auf den Knochen. Sie ist anatomisch und wirkt gross, überragt den Knochen aber keinenorts, auch am Ort der am Knochen anliegenden Popliteus-Sehne nicht. Auffällig ist auch die wiederhergestellte unterschiedliche Form zwischen der medialen und lateralen Kondylenrolle, die keineswegs symmetrisch sind.

Bessere Kinematik und Stabilität

Auch die Annäherung an die natürliche Bewegung im Gelenk ist entscheidend: mit Beugung rollt und gleitet vor allem der äussere Femurkondyl auf der Tibiaebene nach hinten. Diese Kinematik schafft die Prothese nach Mass besser, als die Prothese ab Lager (3) wie auch die Kniebeugung besser ist (4). Ebenso ist das Gelenkspiel bei der bedeutenden mittleren Beugung natürlicher (5), wodurch sich Patienten sicherer fühlen und sich das Knie weniger fremd anfühlt (6,7), wie es auch eigene Resultate bestätigen (8).

Intelligente Ausrichtung

Mit Plastikhälften in unterschiedlicher Höhe werden Vorteile von zwei Konzepten, die sich eigentlich miteinander nicht vereinbaren lassen, kombiniert (Abbildung 3).

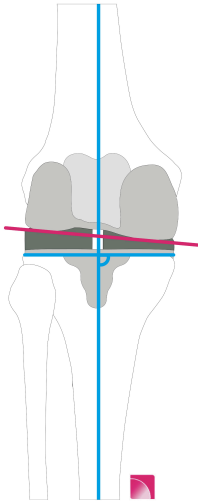


Abb. 3: Die natürliche, nach medial individuell verschieden abfallende Gelenklinie (Kondylentangente) bleibt erhalten (kinematische Ausrichtung, rot), und doch bleibt die Plastikebene horizontal und wird rechtwinklig zur Beinachse belastet (mechanische Ausrichtung, blau).

Neue bikompartimentale Prothesenform

Die Teilprothesen und Miniprothesen werden immer beliebter (9). Sie ersetzen nur denjenigen Teil vom Knie prothetisch, der krank ist, sind knochensparend und lassen die Kreuzbänder unberührt. Oft ist bei diesen Prothesen die kranke Gelenkfläche aber grösser als sie mit ihnen ersetzt werden kann, denn die Arthrose dehnt sich gerne über das kondyläre Gelenk nach vorne zum Femuropatellar-Gelenk aus (10). Die betroffene Gelenkfläche wird dabei komplex und unterliegt weiter grossen interindividuellen Schwankungen. Die Konfektion einer passenden, künstlichen Ersatzfläche an einem Stück war daher nicht denkbar. Der Durchbruch gelang mit der Herstellung einer Prothese nach Mass, die die Vorteile einer Teilprothese wahrt und seit bald 10 Jahren erfolgreich eingesetzt wird (11,12) (Abbildung 4).

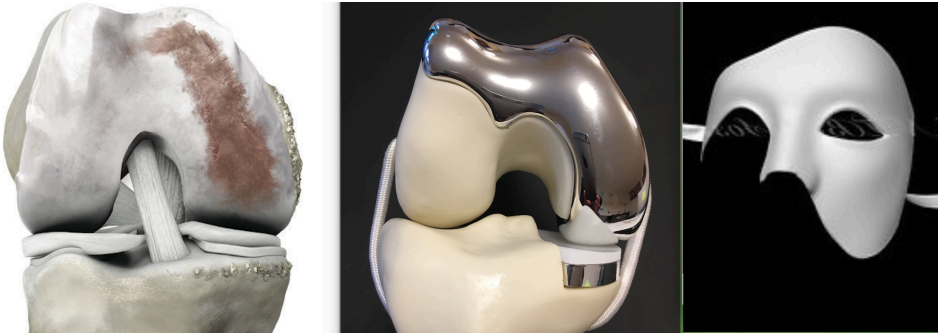


Abb. 4: Bikompartimentaler Knorpelschaden und Gelenkersatz iDuo®, der an die Halbmaske von Webbers "Phantom of the Opera" erinnert.

Chirurgisches Umdenken und schwierigere Implantation

Auch wenn das Implantationsinstrumentarium ausgeklügelt ist, hat der Chirurg weniger Spielmöglichkeiten und muss sich voll auf Berechnungen eines unbekanntem Ingenieurs des Herstellers verlassen. Typischerweise stört sich der Chirurg nur anfänglich an diesem Kontrollverlust. Operationstechnisch ist das exakte, knochensparende Sägen nahe zum subchondral harten Knochen anspruchsvoll, und zur Wiederherstellung einer natürlichen O- oder X-Beinachse braucht es einige Tricks. Mit Erfahrung werden auch diese Hürden zur Routine.

Schnellere Fortschritte nach der Operation

Werden die früh-postoperativen Resultate von Patienten mit einer Massprothese mit jenen von Patienten mit einer Konfektionsprothese verglichen (13), fällt ein geringerer Blutverlust, eine frühere Befreiung von Stöcken und eine schnellere Zunahme des Bewegungsumfanges bei Patienten mit einer Massprothese auf (6,7). Auch erste Anwender aus der Schweiz stellen bei diesem Vergleich eindrückliche Verbesserungen fest, beobachten eine vermehrte Unzufriedenheit und Steife (14) hingegen nicht.

Noch wenig Langzeitergebnisse und Studienkraft

Bereits über 55'000 Patienten wurden mit Massprothesen des Firma conformMIS (Massachusetts, USA) versorgt. Die ersten Teilprothesen (iUni® und iDuo®) wurde vor 10 und 9, und die erste Totalprothese auf Mass (iTotal® CR) vor 6 Jahren implantiert. Eine femuro-patelläre Massprothese (KineMatch® von Kinamed) weist sogar 11-Jahres-Ergebnisse mit hervorragender Überlebensrate aus (15,16). Klinische Erfahrung besteht daher, wenn gleich Publikationen in besten "peer review" Fachzeitschriften und naturgemäss Langzeitergebnisse in grossen Serien noch fehlen.

Der Kreis schliesst sich - Wurzeln in der Schweiz

In Zusammenarbeit mit der Schulthess-Klinik und der ETH startete der Autor Im Januar 2001 ein Projekt zur Entwicklung einer Massprothese am Knie. Fern der

Idee des 3D-Medizinaldrucks wurde es als nicht realistisch eingestuft und in der Pilot-Phase beendet. Hingegen für Schweizer Orthopädie geradezu üblich wurde die Entwicklungen Übersee vorangetrieben, wovon der Autor während seines Fellowship bei Tom Minas, Professor der Harvard University in Boston, wiederum sehr profitieren konnte. Nach einer exponentiell wachsenden Zahl von Anwendern in den USA, findet die Erfindung über Deutschland wieder in der Schweiz zurück.

Zukunft: Hype oder Norm?

Bei explodierenden Gesundheitskosten ist der höhere Implantatpreis zunächst störend. Lassen sich die guten Resultate jedoch bestätigen, dürfte die Massprothese bei gesamthaft günstigeren Behandlungskosten (17) zum Standard werden, beziehungsweise die heute überwiegend traditionelle Implantation von Konfektionsprothesen verdrängen.

Literatur

1. Bourne et al. Patient satisfaction after total knee arthroplasty. Who is satisfied and who is not? Clin Orthop Rel Res 2010; 468: 57-63
2. Fitz W. Unicompartmental knee arthroplasty with use of novel patient-specific resurfacing implants and personalized jigs. J Bone Joint Surg Am 2009; 91:69-763
3. Zeller IM et al. Customized versus patient-sized cruciate-retaining total knee arthroplasty: a in vivo kinematics study using fluoroscopy. J Arthroplasty 2017; 32:1344-1350. doi 10.1016/j.arth.2016.09.034
4. Kurtz W. et al. In vivo kinematics for subjects implanted with either a traditional or a customized, individually made TKA. ICJR-Pan-Pacific 2014, Abstract 021A2
5. Patil S. et al. Patient-specific implants and cutting guides better approximate natural kinematics than standard TKA. Orthopedic Research Society 2013. Abstract 965
6. O'Connor M. et al. Improved knee function with customized vs. off-the-shelf TKA implant. ICJR Pan Pacific Congress 2016
7. Katthagen BD, Chatziandreou I. MK-03001-AA. World Arthroplasty Congress 2015
8. Stähelin T. Eindeutige Beobachtung des Autors

9. Riddle D et al. Yearly incidence of unicompartmental knee arthroplasty in the United States. *J Arthroplasty* 2008; 23: 408-412
10. Ledingham J et al. Radiographic patterns and associations of osteoarthritis of the knee in patients referred to hospital. *Ann Rheum Dis* 1993; 52: 520-526
11. Rolston L et al. Bicompartmental knee arthroplasty: a bone sparing, ligament sparing and minimally invasive alternative for active patients. *Orthopedics* 2007; 30: 70-73
12. Beckmann J. et al.. Customized, individually made bi-compartmental knee replacement: a prospective, multicenter study of clinical outcomes. *British Assoc. Surgery Knee, Annual Meeting 2016*
13. Arnold MP, Rycken T. Knieprothetik nach Mass aus dem 3D-Drucker. *Swiss Medical Forum* 2016; 16 (35): 702-706
14. White PB, Ranawat AS. Patient-specific total knees demonstrate a higher manipulation rate compared to „off-the-shelf implants“. *J Arthroplasty* 2016; 31: 107-111
15. Sisto DJ, Sarin VK. Custom patellofemoral arthroplasty of the knee. *J Bone Joint Surg* 2006; 88: 1475-1480
16. Bruce R. Exhibitor Kinamed. *AAOS Annual Meeting 2017. Persönliche Mitteilung*
17. Slamin J, Parsley B. Evolution of customization design for total knee arthroplasty. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2012; 5: 290-295